

## 5. MREŽNA RAZINA

### 5.1 UVOD

Mrežna razina osigurava prijenos poruke s kraja na kraj mreže. Primarni problemi ovog sloja su adresiranje, usmjeravanje prometa kroz mrežu, te zagušenje mreže. Problemi se nastoje riješiti na način optimalan za korisnika (da podaci stižu sa minimalnim kašnjenjem i s najvećom mogućom točnošću) i za mrežu (nastojanje da se izbjegnu zagušenja, a da se maksimalno iskoristi mreža).

Jedinicu informacije (PDU) mrežne razine nazivamo paket. Pakete je moguće prosljeđivati zasebno, ili virtualnim kanalom. Kod mreža sa zasebnim prosljeđivanjem svaki paket mora nositi globalnu adresu odredišta. Kod mreža sa virtualnim kanalom samo prvi paket toka mora nositi globalnu adresu, dok ga ostali slijede istim putom i nose samo kratki identifikator virtualnog kanala.

Na mrežnoj razini nalazimo spojevne ili bespojne protokole. Primjer mreže koja koristi zasebno prosljeđivanje i bespojni protokol je Internet. Primjer mreže koja koristi prosljeđivanje virtualnim kanalom i spojevni protokol je X.25 paketna mreža. Primjer mreže koja koristi prosljeđivanje virtualnim kanalom i bespojni protokol je ATM s AAL5 sučeljem (svrstan pod podatkovnu razinu).

Čvorišta često nisu u stanju obraditi i prosljeđiti sav promet koji može biti ponuđen na mreži u određenom trenutku. Pojavljuju se zagušenja, koja rezultiraju velikim kašnjenjem informacija i konačno gubitkom PDU zbog popunjenosti memorije čvorišta. Zato je na mrežnoj razini potrebna kontrola toka. Podaci se s kraja na kraj mreže prenose sa velikim kašnjenjem i ne postoji mogućnost direktne kontrole toka (kao kod podatkovne razine). Zato se koristi mehanizam kredita, koji se realizira mehanizmom prozora. Kada predajnik iskoristi kredit, odnosno pošalje broj paketa koji odgovara širini prozora, mora stati dok ne dobije novi kredit (tj. dok ne prestane zagušenje).

### 5.2 ALGORITMI USMJERAVANJA

Usmjeravanje prometa je postupak otkrivanja optimalnog puta između izvorišta i odredišta toka podataka. Kriteriji optimalnosti su minimalno kašnjenje, koje ovisi o izravnosti izabranog puta i stanju zagušenja na mreži. Usmjeravanjem prometa može se utjecati na stanje zagušenja u mreži.

U praksi, određivanje optimalnog puta je vrlo kompleksan posao i obavlja se samo povremeno. Period preračunavanja tablica usmjeravanja na globalnim mrežama (Internet) iznosi i do desetak minuta. Stoga se prosljeđivanje paketa, odnosno određivanje virtualnog kanala, na stvarnim mrežama obavlja prema tablicama usmjeravanja.

Same tablice usmjeravanja izračunavaju se korištenjem algoritama usmjeravanja, a oni mogu biti:

- 1) deterministički - odluku usmjeravanja donosimo pomoću nekih čvrstih pravila;
- 2) stohastički - uz pravila dozvoljavamo i određene slučajnosti.

Svrha ovih algoritama je da mreža bude optimalno iskorištena, da se maksimalno iskoristi kapacitet, te da se korisniku pruži određena kvaliteta usluge.

#### 5.2.1 DETERMINISTIČKI ALGORITMI

\* algoritam poplave - paket, koji smo primili, šaljemo na sve kanale osim na onaj s kojeg je došao. Može se primijeniti i tako da se ne šalje na sve (jednostavniji oblik ovog algoritma), nego samo na odabrane kanale, što je mnogo efikasnije.

\* algoritam stalnog usmjeravanja - za svaki par izvorišta i odredišta postoje unaprijed određeni putovi, tako da na osnovu adrese odredišta možemo znati odakle je paket došao. Također unaprijed znamo gdje će paket krenuti, te ga tamo usmjeravamo.

\* algoritam razdvojenog prometa - promet se šalje po više kanala prema istom odredištu, s tim da se odredi koji će postotak ići kojim kanalom.

\* algoritam idealnog opažača - algoritam koji pretpostavlja da svako čvorište u trenutku usmjeravanja ima sve informacije o stanju mreže. Ovo je samo teoretski moguće, jer čvorišta imaju samo djelomičnu informaciju o stanju mreže. Isprva se smatralo da će se težiti prema ovom algoritmu kao referentnom, ali se u praksi pokazalo da je loše kada čvorišta reagiraju na trenutne promjene stanja mreže.

### 5.2.2 STOHAŠTIČKI AGORITMI

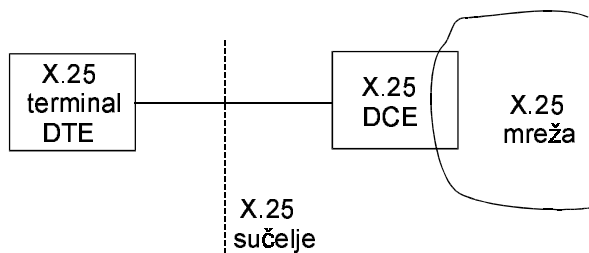
\* usmjeravanje nasumce - čvorište, koje dobije paket, otprilike zna odakle je došao i neće ga vratiti natrag, nego ga pošalje nasumce. Ovo je najjednostavniji algoritam.

\* algoritam izoliranog usmjeravanja - pojedini čvor nema informaciju o stanju na mreži, već na osnovu performansi na kanalima na koje je vezan donosi odluku o usmjeravanju. Kod ovog algoritma se može procijeniti vrijeme čekanja (kašnjenja) na osnovu dužine reda čekanja, jer je vrijeme kašnjenja nekog paketa proporcionalno broju paketa u redu čekanja ispred njega.

\* algoritam raspodijeljenog prometa - najčešće se koristi. Povezuje algoritam razdvojenog prometa i algoritam izoliranog usmjeravanja na način da sada imamo egzaktnu informaciju o strukturi mreže, te od mogućih putova prema lokalnoj procjeni biramo optimalan put. Pojedinim smjerovima dodijelimo težine koje imaju značenje broja paketa u redu. Težina se pribraja stvarnom broju paketa u redu za taj smjer i slijedeći paket se šalje na kanal s manjim ukupnim brojem.

### 5.3 PAKETNE MREŽE PO PREPORUCI ITU-T X.25

Preporuka X.25 definira terminal, DCE i sučelje između njih, slika 5.1.



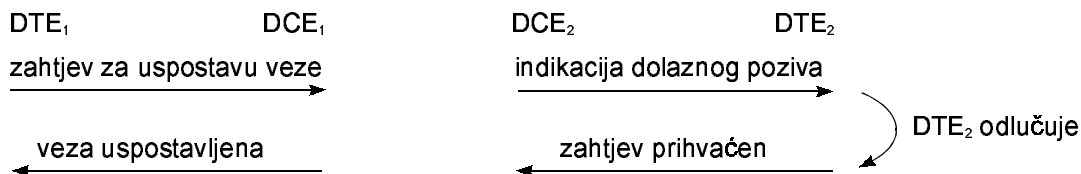
Slika 5.1. X.25 sučelje

Fizička i podatkovna razina X.25 sučelja obrađene su u poglavljima 3 i 3. X.25 mreža je spojivna mreža, koja uspostavlja numeraciju PDU i oporavak od pogreški ponovnim slanjem (retransmisijom). Paketi se prosljeđuju po virtualnom kanalu, te je adresa potrebna samo u fazi njegove uspostave, odnosno samo za prvi paket. Za ostale pakete se koristi 12-bitni broj virtualnog kanala. Taj broj nije jedinstven, nego se mijenja od čvora do čvora prema tablicama virtualnog kanala.

#### 5.3.1 PRIJENOS PAKETA

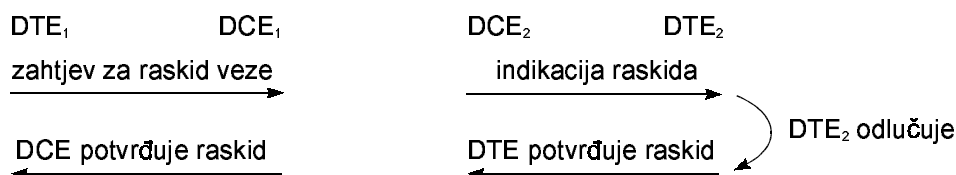
Prema X.25 definirano je više vrsta paketa, od kojih svaki ima svoju funkciju. Za vrijeme prolaska kroz mrežu paketi zadržavaju svoj oblik, ali u različitim etapama prolaska dobivaju druga značenja.

1) paket zahtjeva za uspostavu veze, slika 5.2 - generira DTE. Prihvata ga DCE i prosljeđuje dalje kroz mrežu. Put svih ostalih paketa koji pripadaju tom logičkom kanalu određen je putom ovog paketa.



Slika 5.2. Prijenos paketa zahtjeva za uspostavom veze

2) paket zahtjeva za raskid veze, slika 5.3.



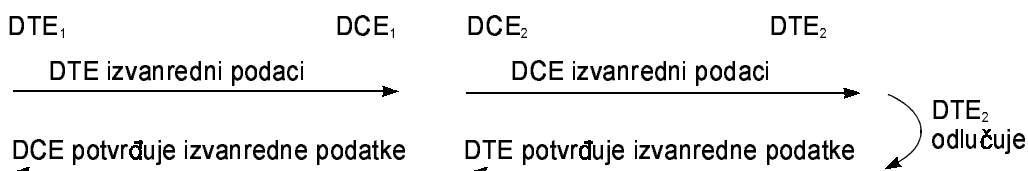
*Slika 5.3. Prijenos paketa zahtjeva za raskidom veze*

3) redoviti paketi podataka, slika 5.4.



*Slika 5.4. Prijenos redovitih paketa podataka*

4) izvanredni paketi podataka - paketi podataka višeg prioriteta, koji nemaju numeraciju, pa ih je potrebno posebno potvrditi, slika 5.5.



*Slika 5.5. Prijenos izvanrednih paketa podataka*

5) paketi za eksplicitnu kontrolu toka i kontrolu pogriješki:

- \* RR (Receive Ready) - prijem spreman;
- \* RNR (Receive Not Ready) - prijem nije spreman;
- \* REJ (Reject) - indicira pogriješan paket.

6) paketi za resinkronizaciju podataka na vezi:

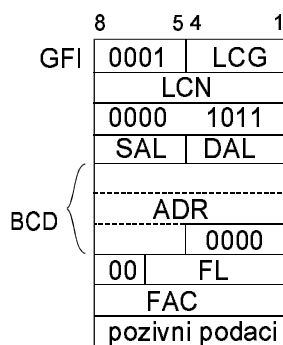
- \* RESET - zahtjev za ponovno iniciranje pojedine veze;
- \* RESTART - zahtjev za ponovno iniciranje svih virtualnih kanala na određenom sučelju.

### 5.3.2 FORMATI ZAGLAVLJA PAKETA

Svaki od navedenih paketa ima svoj format zaglavlja.

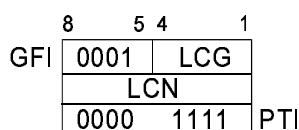
1) paket zahtjeva za uspostavu veze (CALL REQUEST), slika 5.6.

- \* GFI (General Format Identifier) - opći identifikator formata
- \* LCG (Logical Channel Group number) i LCN (Logical Channel Number) čine 12-bitni broj virtualnog kanala (u X.25 terminologiji "logical channel");
- \* PTI (Packet Type Identifier) - identifikator tipa okvira;
- \* SAL (calling DTE adres length) - dužina izvorišne adrese u BCD kodu;
- \* DAL (called DTE adres length) - dužina odredišne adrese u BCD kodu;
- \* ADR - adresa u BCD kodu. Ako je broj adresa neparan, nadopunjuje se nulama;
- \* FL (Facility Length) - polje mogućnosti, odnosno polje koje određuje dužinu slijedećeg polja kojeg traži terminal koji uspostavlja vezu;
- \* FAC (Facilities) - opcije po kojima se usaglašavaju dodatne veze;
- \* POZIVNI PODACI - služe za identifikaciju korisnika.



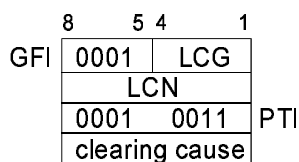
**Slika 5.6.** Paket zahtjeva za uspostavu veze (CALL REQUEST) i paket indikacije dolaznog poziva (INCOMING CALL)

Ovaj paket kao INCOMING CALL dolazi na određeni DTE. Ako terminal odluči prihvatiti vezu, onda šalje paket CALL ACCEPTED (slika 5.7), a potvrda da je veza uspostavljena je paket CALL CONNECTED.



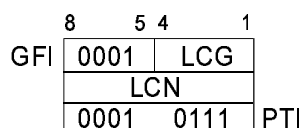
**Slika 5.7.** Paket kojim terminal prihvaća vezu (CALL ACCEPTED) i paket potvrde da je veza uspostavljena (CALL CONNECTED)

Kada DTE želi da DCE oslobodi logički kanal, šalje paket CLEAR REQUEST, slika 5.8. Kada je DCE spreman osloboditi kanal, šalje CLEAR CONFIRMATION paket, slika 5.9. Slično, kada DCE želi da DTE oslobodi logički kanal, šalje CLEAR INDICATION (slika 5.8), a DTE, kada je spreman, pošalje CLEAR CONFIRMATION, slika 5.9.



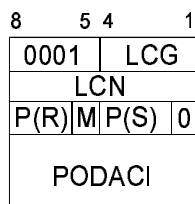
**Slika 5.8.** Paket CLEAR REQUEST i CLEAR INDICATION

CLEARING CAUSE - uzrok zbog kojeg DTE ili DCE traži oslobađanje logičkog kanala.



**Slika 5.9.** Paket CLEAR CONFIRMATION za DTE i DCE

2) paket s podacima, slika 5.10.



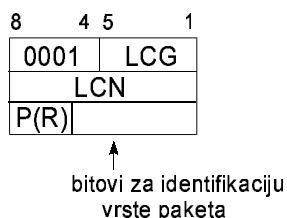
**Slika 5.10.** Paket s podacima

- \* P(R) - redni broj paketa kojeg očekujemo iz suprotnog smjera. Sve pakete do P(R)-1 potvrđujemo;
- \* P(S) - redni broj paketa.

- \* M (more) - indikator koji pokazuje da ovaj paket ne sadrži cjelovite podatke korisnika, nego da ima još paketa. Zadnji paket ima M=0 i svi paketi od prethodnog sa M=0 do idućeg M=0 (uključujući i njega) pripadaju cjelovitoj poruci;

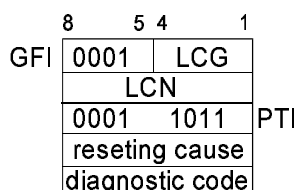
3) paketi za eksplicitnu kontrolu toka i kontrolu pogriješki, slika 5.11. Razlikuju se prema bitovima za identifikaciju:

- \* RR: 00001;
- \* RNR: 00101;
- \* REJ: 01001.

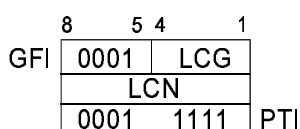


**Slika 5.11.** Paketi za eksplicitnu kontrolu toka i kontrolu pogriješki

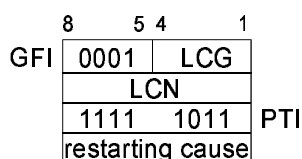
4) Paketi za resinkronizaciju podataka na vezi su RESET i RESTART. Kada stanica zahtjeva ponovno iniciranje pojedine veze, šalje RESET REQUEST (DTE), odnosno RESET INDICATION (DCE) paket, slika 5.12. Ako je druga stanica spremna ispuniti taj zahtjev, šalje paket RESET CONFIRMATION, slika 5.13. Ako neka od stanica zahtjeva ponovno iniciranje svih virtualnih kanala na određenom sučelju, šalje paket RESTART REQUEST, odnosno RESTART INDICATION (slika 5.14), a korespondentni DCE se na to odaziva sa RESTART CONFIRMATION, slika 5.15.



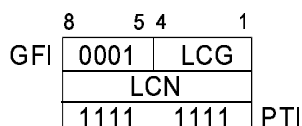
**Slika 5.12.** Paket zahtjeva za ponovno iniciranje pojedine veze RESET REQUEST i RESET INDICATION



**Slika 5.13.** Paket RESET CONFIRMATION za DTE i DCE



**Slika 5.14.** Paket zahtjeva za ponovno iniciranje svih virtualnih kanala na određenom sučelju RESTART REQUEST i RESTART INDICATION



**Slika 5.15.** Paket RESTART CONFIRMATION za DTE i DCE

## 5.4 MREŽNA RAZINA INTERNETA

Internet mreža je primjer bespojne mreže. Usmjeravanje i prosljeđivanje se vrši za svaki paket zasebno.

Protokol na mrežnoj razini Interneta naziva se IP (Internet Protocol). Njim je riješeno adresiranje i dostupnost do svakog računala prisutnog na Internetu.

### 5.4.1 ZAGLAVLJE PAKETA IP

Zaglavlje paketa IP protokola prikazano je na slici 5.16.

0	3	4	7	8	15	16	31
VER	IHL	TOS			TOTAL LENGTH (okt)		
ID					FLAG	FRAG. OFF. (po 8 okteta)	
TTL		PROTOCOL		zaštitni znak zaglavlja			
SOURCE IP ADRESS							
DESTINATION IP ADRESS							
OPCIJE						POPUNA	

*Slika 5.16. Zaglavlje paketa IP protokola*

- \* VER (Version) - verzije;
- \* IHL (Internet Header Length) - dužina Internet zaglavlja;
- \* TOS (Type Of Service) - definira tip usluge, slika 5.17. Ovdje se daju instrukcije čvorištima mreže na koji će način postupati sa pojedinim paketom. Sastoji se od slijedećih polja:

PPP	D	T	R	0	0
-----	---	---	---	---	---

*Slika 5.17. Polje TOS, koji definira tip usluge*

- \* P (Priority) - bitovi prioriteta;
- \* D (Delay) - definira prijenos maksimalnom brzinom
- \* T (Throughput) - definira prijenos s minimalnim kašnjenjem;
- \* R (Reliability) - definira prijenos s najvećom sigurnošću, da se paket ne odbaci ako u čvorištu dođe do zagušenja.

Prilikom prijenosa se bira jedna od ove tri opcije (maksimalna brzina, maksimalna sigurnost ili minimalno kašnjenje).

- \* TOTAL LENGTH - dužina paketa u oktetima, koja uključuje zaglavlje (minimalno 40 okteta) i korisnikove podatke (tipično 536 okteta). Svaki čvor na mreži mora biti u stanju prihvatiti paket dužine 576 okteta ili ga sastaviti od manjih dijelova. Veći paket smije biti poslan samo u slučaju ako postoji potvrda da ga je prijemna stanica u stanju primiti.
- \* ID (Identification) je 16-bitna riječ, koja služi za identifikaciju paketa. Koristi nam da bi prilikom fragmentacije mogli rekonstruirati sve dijelove poruke.
- \* FLAG - zastavica, dužine 3 bita, slika 5.18.

0	D	M
	F	F

*Slika 5.18. Polje Flag IP paketa*

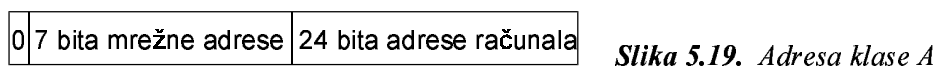
- \* DF (Don't Fragment) - ne fragmentirati. Ako se mora fragmentirati, paket se odbacuje;
- \* MF (More Fragment) - ako je dozvoljena fragmentacija, svi pojedini fragmenti, osim prvoga, imaju MF=1, a zadnji ima MF=0. MF=0 i za nefragmentirane pakete.

- \* FRAGMENT OFFSET - ukoliko je paket, koji smo primili, dio nekog većeg paketa, FRAGMENT OFFSET nam kaže na kom se mjestu originalnog paketa nalazi početak primljenoga. Fragment se radi na granici dvije riječi, a može započeti na svakoj drugoj riječi, tj. svakih 8 okteta.
- \* TTL (Time To Live) - vrijeme koje paket smije biti na mreži. Ako za to vrijeme nije isporučen, odbacuje se.
- \* PROTOCOL - protokol identifikator. Definiira protokol prijenosne razine, kome pripadaju podaci koji se nalaze u tijelu samog paketa.
- \* zaštitni znak zaglavlja - sastoji se od 16-bitnog kontrolnog polja, a služi da bi se zaglavlje zaštitilo od pogreški. IP protokol prosljeđuje paket ako je zaglavlje točno, bez obzira što u tijelu paketa može biti pogreška.
- \* SOURCE IP ADRESS - izvorišna IP adresa.
- \* DESTINATION IP ADRESS - odredišna IP adresa.
- \* OPCIJE - odnose se na posebne zahtjeve za upravljanje paketima. Postoje dvije varijante:
  - \* egzaktno se definiira put prolaska kroz mrežu;
  - \* pravila usmjeravanja dozvoljavaju odstupanje paketa od zadanog smjera.

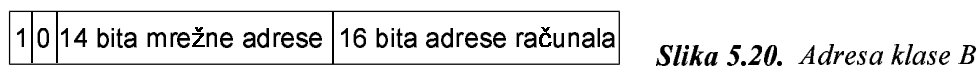
#### 5.4.2 ADRESIRANJE PREMA IP PROTOKOLU

Adrese IP protokola sastoje se od mrežne adrese i adrese računala (zapravo, mrežnog priključka). Specificirane su 3 klase adresa:

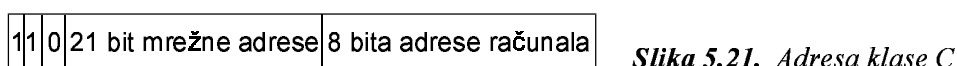
- \* Klasa A, slika 5.19. Omogućuje  $126 (2^7-2)$  računala i  $16.8 \cdot 10^6 (2^{24}-2)$  mreža.



- \* Klasa B, slika 5.20. Omogućuje  $16382 (2^{14}-2)$  računala i  $65534 (2^{16}-2)$  mreža.



- \* Klasa C, slika 5.21. Omogućuje  $2.1 \cdot 10^6 (2^{21}-2)$  računala i  $254 (2^8-2)$  mreža.



Dobra strana ovakve strukture adresa je u tome što na osnovu usporedbe adrese odredišta s vlastitom adresom računalo zna je li komunicira s računalom na istoj ili nekoj drugoj mreži. Ako je korespondentna stanica na istoj mreži, koristi se ARP (Address Resolution Protocol) protokol. Izvorišna stanica na lokalnu mrežu šalje ARP upit sa univerzalnom adresom kojeg primaju sve stanice, a na njega se odaziva samo odredišna stanica, koja u odzivu javlja svoju ETHERNET adresu. Ako korespondentna stanica nije na istoj mreži, paket se šalje usmjerniku (default gateway), a put paketa se određuje prema tablicama usmjeravanja.

Nedostatak fiksne podjele adresa na mrežni i računalni dio je u tome što za određenu mrežu najčešće nisu iskorištene sve adrese. Stoga se mreža može podijeliti na podmreže, korištenjem adresnih maski.